

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Pokročilé metody měření parametrů symetrických metalických kabelových vedení

Advanced Methods of Measuring the Parameters of Symmetrical Metallic Cable Lines

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Vlk

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

**Pokročilé metody měření parametrů symetrických metalických
kabelových vedení
Advanced Methods of Measuring the Parameters of Symmetrical
Metallic Cable Lines**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je popsat parametry metalických vedení, možné poruchy na metalických vedeních a metody jejich měření a zaměřování.

1. Popište parametry symetrických metalických vedení.
2. Popište náhradní modely pro simulaci přenosových vlastností symetrických metalických vedení.
3. Popište typické poruchy na metalických kabelových vedeních a metody zaměřování těchto poruch.
4. Po dohodě s vedoucím proveďte modelování či simulaci vedení včetně některých vybraných poruch a metod zaměřování těchto poruch.
5. V laboratoři proveďte měření na reálných vedeních a vytvořte vzorové protokoly k měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FILKA, Miloslav. *Telekomunikační vedení*. Vyd. 3. Brno: Vysoké učení technické, 1988.
- [2] ELICER, Karel. *Konstrukce sdělovacích kabelů a vedení: (teoretické podklady pro konstrukci a montáž sdělovacích kabelů)*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1970.
- [3] KVASIL, Josef. *Teorie sdělovacích vedení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1976.
- [4] SZÉKELY, Juraj. *Teoretická elektrotechnika I*. 1. díl. 7. vyd. Bratislava: Alfa, 1980.
- [5] SZÉKELY, Juraj a Miloslav NEVESELÝ. *Teoretická elektrotechnika II*. Bratislava: Alfa, 1985.
- [6] SZÉKELY, Juraj. *Príklady z teoretickej elektrotechniky: riešenie obvodov*. Vyd. 3., preprac. Bratislava: Alfa, 1970.
- [7] VODRÁŽKA, Jiří. *Diagnostika přípojek metodou TDR*. URL: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?navezclanku=diagnostika-pripojek-metodou-tdr&cislocclanku=2004072914>
- [8] LAIPERT, Miloš, Bohumil PŠENIČKA a Miroslav VLČEK. *Sbírka úloh z teorie sdělovacích vedení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1978.
- [9] VODRÁŽKA, Jiří a Boris ŠIMÁK. *Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 2, Přenosové prostředí, druhá generace ADSL a VDSL, měření na přípojkách*. Praha: Sdělovací technika, c2008. Telekomunikace. ISBN 978-80-86645-16-2.

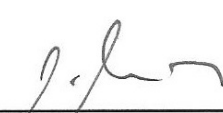
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Skapa, Ph.D.**


Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020





prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce ing. Janu Skapovi, Ph.D. za konzultace a odbornou pomoc. Dále děkuji Báňské univerzitě za možnost provádět měření v univerzitních laboratořích.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá typickými poruchami na symetrických metalických kabelových vedeních a metodami pro jejich lokalizaci. V první části se nachází teoretický popis vedení, poruch a metod pro lokalizaci. Druhá část je praktická a obsahuje simulaci poruchy a její lokalizaci pomocí výše uvedených metod.

Klíčová slova: metalická vedení, poruchy, kabel, metody měření, parametry vedení, simulace vedení, modely primárních parametrů, výsledné tabulky

Abstract

Bachelor thesis deals with typical failures on symmetric metallic wiring and with methodology of cause localization. In the first part the theory of wiring, failures and methods is described. The second part is practical and covers failure simulation and localization using the suitable methods.

Keywords: metallic wiring, failures, cable, measuring methods, line parameters, line simulation, models of primary parameters, resulting tables

Obsah

Seznam obrázků	7
1 Metalická vedení	9
1.1 Kabely SYKY a SYKFY	9
1.2 UTP kabely	11
2 Parametry symetrických kabelů	18
2.1 Primární parametry	18
2.2 Sekundární parametry	19
3 Modely symetrických metalických vedení	21
3.1 Modely pro modelování primárních parametrů	22
4 Poruchy na symetrických metalických kabelech	24
4.1 Snížení izolačního odporu	24
4.2 Zkraty	24
4.3 Přerušování žil	24
4.4 Přeslechy	24
4.5 Měření reflektometrickou metodou	24
5 Zaměření poruch na metalických kabelech	26
5.1 Můstkové metody	27
5.2 Reflektometrická metoda TDR	32
6 Měření	36
6.1 Tabulky	36
6.2 Grafy	40
7 Simulace	42
7.1 Teoretická část simulace	42
7.2 Praktická část simulace	46
7.3 Měření poruch	51
Literatura	53

Seznam obrázků

1	Struktura Cat.5e U/UTP [3]	11
2	Struktura Cat.5e F/UTP [3]	12
3	Struktura Cat.5e SF/UTP [3]	12
4	Struktura Cat.6 U/UTP [3]	13
5	Struktura Cat.6 U/FTP [3]	13
6	Struktura Cat.6 S/FTP [3]	14
7	Struktura Cat.7 S/FTP [3]	15
8	Struktura Cat.7a S/FTP [3]	16
9	Struktura Cat.7+ S/FTP [3]	17
10	Schéma části vedení o délce dx [10]	21
11	Wheatstonův můstek [12]	27
12	Zapojení Murrayova můstku [12]	28
13	Zapojení Varleyovy metody [12]	29
14	Schéma Ludvíkovy metody [12]	30
15	Schéma zapojení TDR a průběh trasy [8]	32
16	Blokové schéma přístroje [8]	33
17	Reflektometr při měření	34
18	Reflektometr detail na displej	35
19	Schéma zapojení na prázdko a na krátko	36
20	První jednoduché namotání, druhé bifilární namotání [15]	37
21	Nastavené VF podle délek kabelů	40
22	Rozsahy podílů délek s nastaveným VF	41
23	Rozsahy podílů délek s referenčním VF	41
24	Rozdělení obvodu na části impedanční a admitanční [13]	42
25	Výsledná charakteristika z vypočítaných hodnot, osa x odpovídá frekvenci f [Hz] a osa y odpovídá absolutní hodnotě přenosu $ H $ []	45
26	Snímek ze simulace v programu Matlab Simulink	46
27	Snímek ze simulace v programu Scilab Xcos	46
28	Snímek ze simulace v programu Scilab Xcos, výstupní graf odpovídající $U_{in} = 10$ V a $f = 1000$ Hz	47
29	Snímek ze simulace v programu Matlab Simulink, výstupní graf odpovídající U_{in} $= 10$ V a $f = 1000$ Hz	47
30	Výstupní charakteristika Simulink	50
31	Výstupní charakteristika Xcos	50

Úvod

Ve své práci se zabývám popisem symetrických metalických vedení, kabelů typu SYKY, SYKFY, UTP, a popisem primárních a sekundárních parametrů. Uvádím zde modely pro simulaci primárních parametrů a popisuji typické poruchy na metalických vedeních. Následují metody pro lokalizaci těchto poruch můstkovými metodami a reflektometrickou metodou. Dále v práci uvádím měření v laboratoři reflektometrickým přístrojem, kde jsem na dostupných kabelových cívkách proměřil délky jednotlivých kabelů. Výsledky měření jsou vyobrazeny v mnou vytvořených tabulkách a grafech. Po měření následuje teoretická a praktická simulace. Teoretická část simulace je formou výpočtů a praktická část proběhla ve dvou programech nazvaných Matlab Simulink a Scilab Xcos, z důvodu porovnání výstupních dat. Výstupní charakteristiky obou částí simulací jsou vyobrazeny opět v tabulkách a grafech.

1 Metalická vedení

Metalická vedení nám umožňují přenos signálu z místa A do místa B pomocí metalických kabelů. Vedení můžeme rozdělit do různých skupin, například podle způsobu využití. V této práci se budeme soustředit na sdělovací symetrické kabely, používané pro instalaci ve vnitřních prostorách. Jedná se o SYKY, SYKFY kabely a datové UTP kabely. Za symetrické kabely jsou označovány buďto kabelové páry, trojky nebo čtyřky, které jsou elektricky symetrické, tudíž mají vůči zemi stejné vlastnosti.[1][2]

1.1 Kabely SYKY a SYKFY

Tyto kabely, jak již bylo zmíněno, se využívají k instalaci ve vnitřních prostorách pro sdělovací služby. Jsou označovány a rozlišovány například podle názvu kabelu, číselného značení a podle barevného značení jednotlivých izolací párů.[1]

1.1.1 Konstrukce kabelu

Metalické kabely mají různé složky a nejčastěji se skládají z těchto částí:[1]

- Jádru
Jádra jsou z kruhových měděných drátů o jmenovitém průměru 0,5 mm. Vlastnosti mědi musí odpovídat ČSN IEC 28, tažnost holého jádra musí odpovídat článku 17 ČSN IEC 708-1. Jádra je dovoleno spojovat svářením nebo spájením stříbrnou nebo rovnocennou pájkou. V místě spoje nesmí být pevnost v tahu menší než 85% pevnosti v tahu nespojovaného jádra.
- Izolace
Jádra žil jsou izolována souvislou vrstvou PVC. Minimální tloušťka izolace musí odpovídat ČSN IEC 189-2, příloha C. PVC, použité ke zhotovení izolace žil, musí svými vlastnostmi odpovídat směsi dle DIN VDE 0207.
- Přenosový prvek
Žíly jsou sdruženy do párů nebo trojek. Sousedící páry (trojky) v každé poloze musí mít různou délku zkrutu. Jednotlivé páry (trojky) jsou odlišeny kombinací barev žil.

1.1.2 Význam písmen v názvu kabelu

S - rozlišovací písmeno, vyznačující instalační kabel (SYKFY)

Y - materiál izolace žil (PVC) (SYKFY)

K - kabel (SYKFY)

F - stínící obal na duši kabelu (SYKFY)

Y - PVC plášť (SYKFY)

- SYKY - duše může být ovinuta termoplastickou fólií
- SYKFY - 1x termoplastická fólie
- 1x Cu drát pocín. Ø 0,4 mm
- 1x laminovaná Al fólie, pokovenou stranou k duši
- překrytí musí být \geq než 20% šířky pásky nebo než 6 mm (platí varianta s nižší hodnotou)

[1]

1.1.3 Barevné značení

Podle vyobrazené tabulky výrobců kabelů Kabelovna Děčín Podmokly, s.r.o. mají izolace žil v každém páru odlišné barvy. Barvy žil »a« v pětici párů jsou vždy stejné. U žil »b« se barvy střídají a po pěticích se opakují. Můžeme se také setkat s kabely, které jsou tvořeny trojicemi žil, u kterých je vždy třetí žila tyrkysová.[1]

Číslo páru	»a« žíla	»b« žíla	Číslo páru	»a« žíla	»b« žíla
1.	bílá	modrá	11.	černá	modrá
2.	bílá	oranžová	12.	černá	oranžová
3.	bílá	zelená	13.	černá	zelená
4.	bílá	hnědá	14.	černá	hnědá
5.	bílá	šedá	15.	černá	šedá
6.	červená	modrá	16.	žlutá	modrá
7.	červená	oranžová	17.	žlutá	oranžová
8.	červená	zelená	18.	žlutá	zelená
9.	červená	hnědá	19.	žlutá	hnědá
10.	červená	šedá	20.	žlutá	šedá

1.2 UTP kabely

UTP zkratka (z anglického jazyka Unshielded twisted pair) označuje kabely, které se využívají pro datová připojení v interiérech. Nejčastěji pro propojení jednotlivých částí sítí mezi směrovače, přepínače a počítače. Jak napovídá název kabel UTP obsahuje vzájemně kroucené páry žil, přičemž každý pár je rozlišen barevně. Můžeme je rozdělit podle různých kategorií. V každé kategorii se tyto kabely dále liší svou konstrukcí.[3]

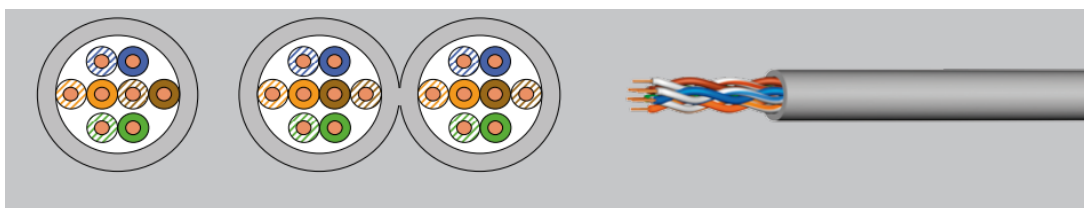
1.2.1 Kategorie kabelu

1.2.1.1 Cat.5e

U/UTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,5 mm
Izolace	Polyetylén, \varnothing 0,9 mm
Páry	Čtyři zkroucené páry
Stínění	Žádné
Plášť	PVC, alternativně FRNC, Duplexní plášť: dva kabely paralelně, oddělitelné
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM

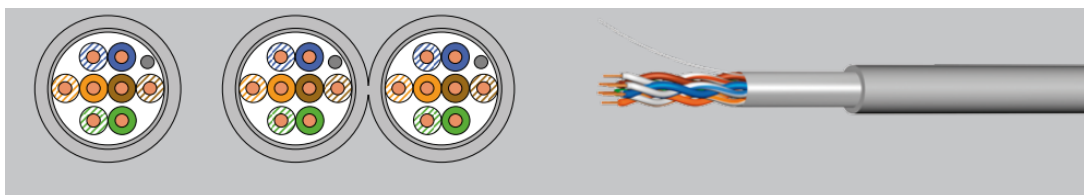


Obrázek 1: Struktura Cat.5e U/UTP [3]

F/UTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,51 mm
Izolace	Polyetylén, \varnothing 1,0 mm
Páry	Čtyři zkroucené páry
Stínění	Společné stínění plastovou fólií laminovanou hliníkem, příložený pocínovaný drát
Plášť	PVC, alternativně FRNC, Duplexní plášť: dva kabely paralelně, oddělitelné
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM

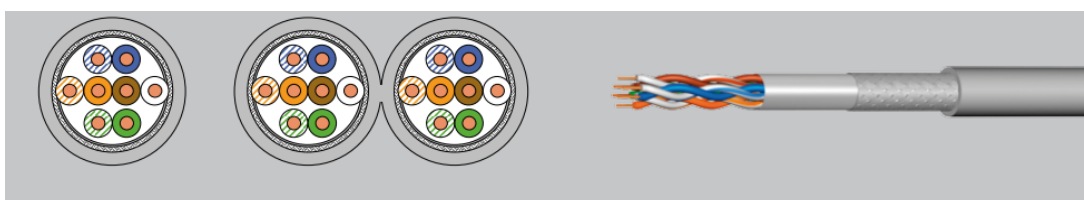


Obrázek 2: Struktura Cat.5e F/UTP [3]

SF/UTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,51 mm
Izolace	Polyetylén, \varnothing 0,95 mm
Páry	Čtyři zkroucené páry
Stínění	Společné stínění plastovou fólií laminovanou hliníkem a pocínovaným měděným opletením (pokrytí > 40 %)
Plášť	PVC, alternativně FRNC, Duplexní plášť: dva kabely paralelně, oddělitelné
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM



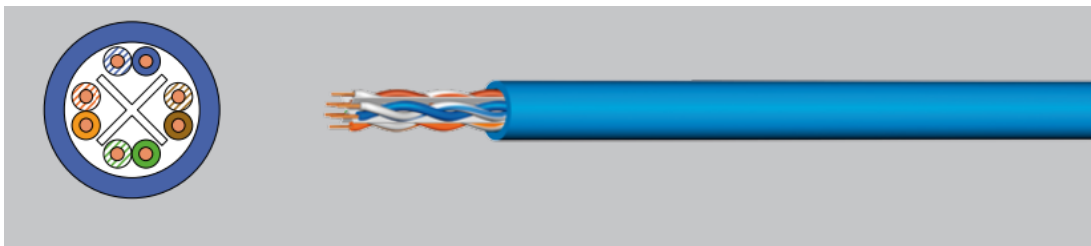
Obrázek 3: Struktura Cat.5e SF/UTP [3]

1.2.1.2 Cat6

U/UTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,56 mm
Izolace	Polyetylén, \varnothing 1,0 mm
Páry	Stočení 4 párů do kabelové duše, bez kovového křížového separátoru (péra)
Stínění	Žádné
Plášť	PVC nebo FRNC plášť
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM

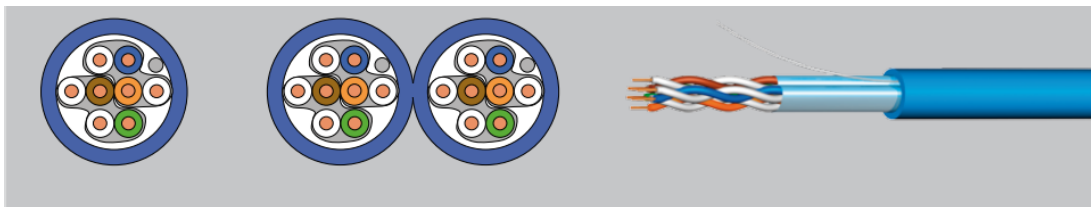


Obrázek 4: Struktura Cat.6 U/UTP [3]

U/FTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,56 mm
Izolace	Polyetylén, foam-skin, \varnothing 1,35 mm
Páry	Stočení 2 x 2 párů do kabelové duše
Stínění	Stínění páru High Performance STP: Plastová fólie laminovaná hliníkem, patentované ovinutí každých dvou párů, pocínovaný příložený drát
Plášť	PVC plášť, alternativně FRNC, Duplexní plášť: dva kabely paralelně, oddělitelné
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM

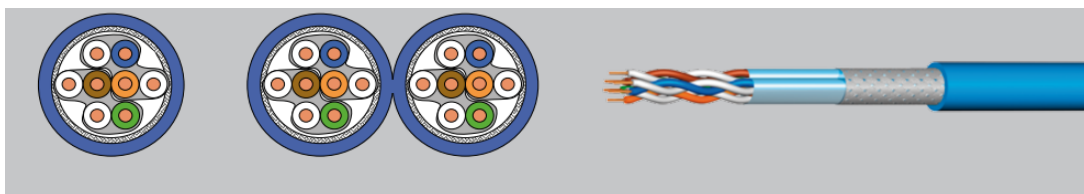


Obrázek 5: Struktura Cat.6 U/FTP [3]

S/FTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,56 mm
Izolace	Polyetylén,foam-skin, \varnothing 1,38 mm
Páry	Stočení 2 x 2 párů do kabelové duše
Stínění	Stínění páru High Performance FTP: Plastová fólie laminovaná hliníkem,
páru	patentované ovinutí každých dvou párů, pocínovaný příložný drát
Plášť	PVC plášť, alternativně FRNC,Duplexní plášť: dva kabely paralelně, oddělitelné
Stínění	Společné stínění pocínovaným měděným opletením
kabelu	(pokrytí cca 45 %), pocínovaný příložný drát
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM



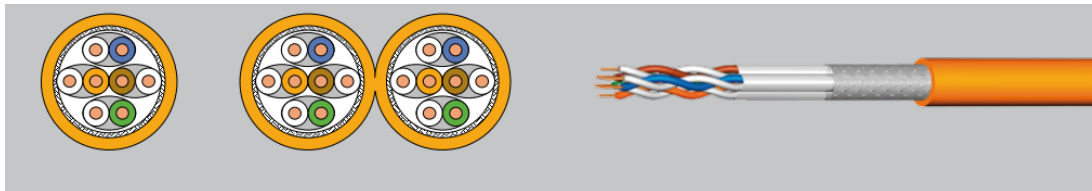
Obrázek 6: Struktura Cat.6 S/FTP [3]

1.2.1.3 Cat7

S/FTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,56 mm
Izolace	Polyetylén,foam-skin, \varnothing 1,38 mm
Páry	Stočení 4 párů (PiMF) do kabelové duše
Stínění páru	Stínění páru plastovou fólií laminovanou hliníkem
Plášť	FRNC
Stínění kabelu	Pocínované měděné stínící opletení (pokrytí cca. 40 %)
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; 10GBase-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM

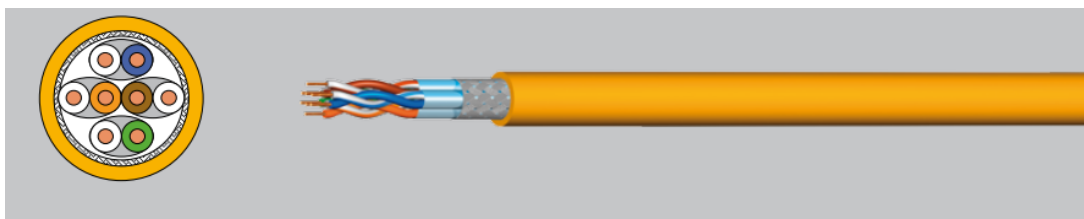


Obrázek 7: Struktura Cat.7 S/FTP [3]

a S/FTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,58 mm
Izolace	Polyetylén, \varnothing 1,4 mm
Páry	Stočení 4 párů
Stínění páru	Stínění páru plastovou fólií laminovanou hliníkem
Plášť	bezhalogenový, oheň retardující LSHF-FR(LSFROH)
Stínění kabelu	Společné stínění pocínovaným měděným opletením, \varnothing 6,7 mm
Využití	IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; 10GBase-T; IEEE 802.5 16 MB; ISDN; TPDDI; ATM

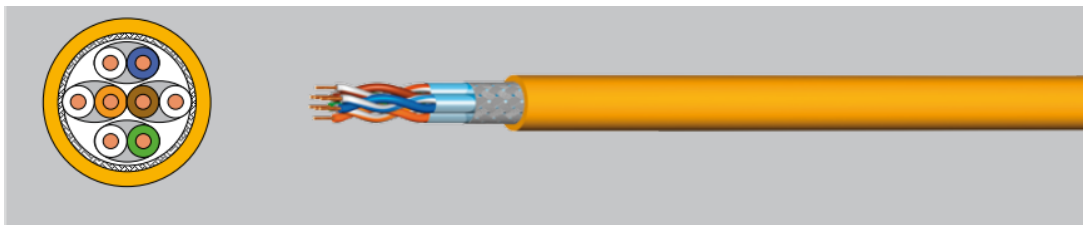


Obrázek 8: Struktura Cat.7a S/FTP [3]

+ S/FTP

Konstrukce

Jádro	Plné holé měděné, \varnothing 0,64 mm
Izolace	Polyetylén, \varnothing 1,6 mm
Páry	Stočení 4 párů
Stínění páru	Stínění páru plastovou fólií laminovanou hliníkem
Stínění kabelu	Společné stínění pocínovaným měděným opletením, \varnothing 7,0 mm
Plášť	bezhalogenový, oheň retardující LSHF-FR(LSFROH)
Využití	IEEE 802.5; IEEE 802.3: 10Base-T; 100Base-T; 1000Base-T; 10GBase-T; ISDN; TPDDI; ATM, CATV, širokopásmové video, kabeláž SOHO



Obrázek 9: Struktura Cat.7+ S/FTP [3]

2 Parametry symetrických kabelů

Tyto parametry se dělí do dvou skupin na primární a sekundární.

2.1 Primární parametry

Jsou parametry, které jsou určeny konstrukcí vedení. Jsou dány materiálem, ze kterého je vedení sestaveno, průměrem jader, kvalitou izolací a prostředím, v němž se vedení nachází.[4][2][5][6]

1. Odpor vedení R [Ω]

Odpor je velmi důležitý parametr, kdy se ve vedení přeměňuje část elektrické energie na teplo a tím ovlivňuje dosah vedení. Můžeme jím ovlivnit celkovou délku a kvalitu vedení. Způsobuje proudové ztráty.

$$R = R_0 k_f = R_0 (k_s k_b k_0) \quad (1)$$

R_0 - stejnosměrný odpor vedení udávaný v/km

k_s - činitel zvětšení odporu vlivem povrchového jevu tzv. skin-effect

k_b - činitel zvětšení odporu vlivem blízkosti vodičů

k_0 - činitel zvětšení odporu vlivem okolních vodičů (stíněním, pláštěm apod.)

2. Kapacita C [F]

Vzniká mezi dvojicí vodičů, které tvoří tzv. dvě strany kondenzátoru. Kapacita je ovlivněna vzdáleností vodičů od sebe a průřezem kabelů. Způsobuje nám útlumové zkreslení signálu a proudové ztráty. Frekvence nám ovlivňuje kapacitní reaktanci mezi vodiči. Největší kapacita vzniká u podzemních vedení, kdy jsou kabely blízko sebe, naopak u nadzemních vedení je kapacita nejmenší.

$$C = \frac{\epsilon \cdot 2 \cdot \pi \cdot l}{\log(\frac{2d}{a})} \quad (2)$$

ϵ - permitivita

l - délka vedení

d - průřez vodiče

a - vzájemná vzdálenost vodičů

3. Indukčnost L [H]

Je zapříčiněna magnetickým polem, které vzniká při průtoku proudu na vedení. Ovlivňují se hlavně kabely, které mají mezi sebou větší vzdálenost (např. u nadzemního vedení).

U malé vzdálenosti je naopak indukčnost vedení velmi malá (např. u podzemního vedení). Způsobuje napěťové ztráty.

$$L = 0,4 \ln \frac{2a}{d} + 0,25 \quad (3)$$

a - vzdálenost vodičů (mm)

d - průměr vodiče (mm)

4. Svod G [S]

Svod nám určuje vodivost mezi vedením a zemí a je ovlivněn hlavně kvalitou izolace. Je potřeba, aby byl svod u vedení co nejmenší. Způsobuje proudové ztráty. Největší hodnoty svod dosahuje u nadzemních vedení. V případě nízké teploty může svod způsobit znemožnění vysokofrekvenčního přenosu.

$$G(f) = G_0 + v \cdot f \quad (4)$$

G_0 - svod při stejnosměrném proudu

v - součinitel měrných ztrát v dielektriku při frekvenci $f = 1$ kHz

f - frekvence přenášeného signálu

Svod a indukčnost jsou významné u nadzemních vedení a v případě zemních vedení jsou zanedbatelně malé. U odporu a kapacity tomu je přesně naopak.

2.2 Sekundární parametry

Jsou parametry, které měříme a analyzujeme na hotovém vedení. Pomocí těchto parametrů můžeme odhalit různé vady a poruchy.[4][2][5][7]

1. Charakteristická impedance Z_c [Ω]

Dělí se na reálnou a imaginární část, obě mají jednotku. Jedná se o poměr napětí a proudu v každé části vedení. Tuto impedanci lze určit z primárních parametrů, kdy záleží na frekvenci signálu (f) a hodnotách primárních parametrů (R,L,C,G). φ_c je argumentem vlnové impedance, který udává rozdíl mezi fázemi napěťové

a proudové vlny v každém místě vedení.

$$Z_c = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_c| \cdot e^{j\varphi_c} \quad (5)$$

2. Měrná míra přenosu γ [dB]

Měrná míra přenosu se dělí na dvě části, a to na reálnou a imaginární část. Jedná se o relativní změnu napětí a proudu v každém bodu vedení.

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U \cdot \Delta X} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (6)$$

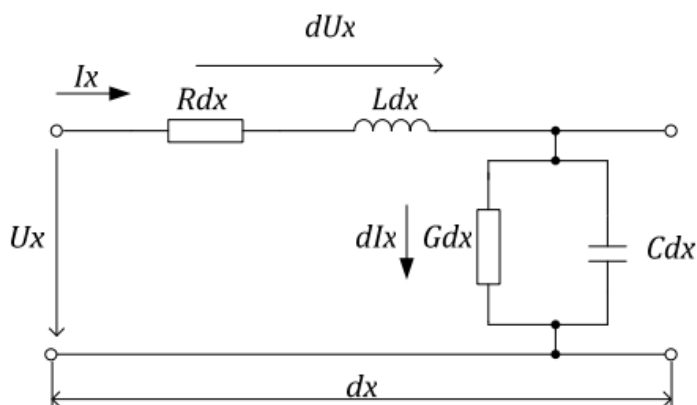
Reálnou částí se nazývá měrný vlnový útlum a značí se symbolem α [dB].

Imaginární část se nazývá měrný fázový posuv a značí se symbolem β [rad]. Udává nám zpoždění fáze vlny na jednotku délky.

$$\beta \cdot \lambda = 2\pi \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (7)$$

3 Modely symetrických metalických vedení

Telekomunikační vedení můžeme považovat za homogenní vedení, což znamená, že má po celé své délce rovnoměrně rozložené elektrické parametry. Každou jednu část vedení si můžeme představit jako schéma uvedené na obrázku 10.[8][9]



Obrázek 10: Schéma části vedení o délce dx [10]

Modely vedení nám pak umožňují simulaci daného vedení. V současnosti se používají modely, které obsahují frekvenční závislosti daných parametrů. Určité modely lze aplikovat pouze do určitých hodnot frekvence a také pouze na určité typy kabelů. Modely rozdělujeme podle toho, které parametry použijeme. Existují zvlášť modely pro využití primárních a sekundárních parametrů a jsou určeny z naměřených hodnot jednotlivých parametrů v kabelu. Modely pro modelování primárních parametrů navrhly společnosti jako British Telecom (BT), ANSI, Royal PTT Netherland, France Telecom a Finland Nokia. Modely pro modelování sekundárních parametrů byly navrženy společnostmi Swisscom a Deutsche Telecom. [8][9]

3.1 Modely pro modelování primárních parametrů

1. Pro modelování primárních parametrů do frekvence 2,5 MHz se využívá sedmiparametrový BT model. Z naměřených hodnot můžeme primární parametry vypočítat pomocí těchto vztahů: 8, 9, 10, 11. [8][9][11]

$$R(f) = \sqrt[4]{r_{oc}^4 + a_c \cdot f^2} \quad (8)$$

$$L(f) = \frac{l_0 + l_\infty \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}{1 + \left(\frac{f}{f_m}\right)^b} \quad (9)$$

$$C(f) = C_\infty \quad (10)$$

$$G(f) = 0 \quad (11)$$

r_{oc} - stejnosměrný odpor

a_c - udává sklon kmitočtové charakteristiky

l_0 - indukčnost při nízkých frekvencích limitujících k nule

l_∞ - indukčnost při nejvyšších frekvencích daného pásma

f_m a b - parametry charakterizující přechod mezi oblastí nižších a vyšších frekvencí

C_∞ - měrná kapacita při vyšších frekvencích.

Měrný svod zanedbáváme.

2. Pro modelování primárních parametrů ve vyšších frekvencích vedení nad 2,5 MHz až řádově do desítek MHz se využívá třináctiparametrový model společnosti BT. Více parametrů bylo přidáno z důvodu zlepšení přesnosti modelu. Primární parametry pak můžeme vypočítat pomocí těchto vztahů: 12, 13, 14, 15. [8][9][11]

$$R(f) = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt[4]{r_{oc}^4 + a_c \cdot f^2}} + \frac{1}{\sqrt[4]{r_{0s}^4 + a_s \cdot f^2}}} \quad (12)$$

$$L(f) = \frac{l_0 + l_\infty \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}{1 + \left(\frac{f}{f_m}\right)^b} \quad (13)$$

$$C(f) = C_\infty + C_0 \cdot f^{-c_e} \quad (14)$$

$$G(f) = g_0 \cdot f^{g_e} \quad (15)$$

Význam parametrů v tomto modelu je stejný jako u předchozího modelu, navíc nám ale přibyly tyto další.

r_o a a_s - pro měrný odpor

g_o - svod při nízkých frekvencích

g_e - koeficient nárůstu směrem k vyšším frekvencím

4 Poruchy na symetrických metalických kabelech

Nejčastější poruchy vznikají při poškození izolace, přičemž se snižuje izolační odpor vůči zemi. Další poruchy vznikají v důsledku zkratů jednotlivých žil, například když se žíly navzájem dotýkají. Velmi častou poruchou je také samotné přerušování žil v kabelu. Mezi méně časté poruchy patří přeslechy.[12][13]

4.1 Snížení izolačního odporu

Ke snížení izolačního odporu dochází při pronikání vlhkosti poškozeným pláštěm kabelu. Na druhu izolace pak závisí rychlost dopadu na provoz. Konstrukce kabelu ovlivňuje podélné šíření vlhkosti. V případě suchého provedení může vlhkost proniknout i na vzdálenost několika desítek metrů od poruchového místa. V této délce pak musí být kabel vyměněn.[12][13]

4.2 Zkrat

Ke zkratu, tedy nízkohmovému spojení dvou nebo více žil, dochází v důsledku poškozené izolace. U sdělovacích kabelů bývá někdy příčinou spadlá izolační dutinka. O zemním zkratu mluvíme v případě spojení žíly s kovovým pláštěm, stíněním nebo zemí.[12][13]

4.3 Přerušování žil

K přerušování žíly dochází nejčastěji v důsledku mechanického poškození kabelu. Může k němu dojít při montáži nebo už v průběhu výroby. [12][13]

4.4 Přeslechy

Přeslech, tedy nežádoucí přenos energie z jednoho okruhu do druhého, může být způsobován různými vlivy. Nejčastěji je však způsoben záměnou žil nebo snížením izolačního stavu žil. Záměna žil vzniká nepozorností techniků při spojování nebo ukončování kabelů. [12][13]

4.5 Měření reflektometrickou metodou

4.5.1 Měření délek kabelů

Pomocí reflektometrické metody můžeme změřit délku vedení. Konec vedení způsobí odraz signálu a po výpočtu můžeme určit délku vedení. [12][13]

4.5.2 Záměna vodičů

Záměna mezi vodiči páru je velmi obtížně zjištěitelná závada v kabelových rozvodech. Takové chyby se projevují zvýšením přeslechů mezi páry. Místo prohození vodičů může být zobrazeno měřičem TDR, jak kladným, tak záporným odraženým pulsem při režimu vysílání do jednoho páru a příjmu z druhého páru (režim pro měření přeslechů - Crosstalk).[12][13]

4.5.3 Lokalizace vody v kabelu

Navzdory mnoha zábránám vnikání vody a vlhkosti do kabelů při výrobě je voda v kabelu jednou z nejčastějších chyb. V případě vniknutí vody do kabelu ve venkovním prostředí se proti dalšímu šíření vody používají kabelové průchodky.[12][13]

4.5.4 Lokalizace odboček

Podobným způsobem se projevují tzv. slepé odbočky (Bridged Taps). Pokud je na měřený pár připojena někde na cestě v rozvaděči odbočka, projeví se toto místo snížením impedance, a tedy odrazem, a zároveň bude patrný další odraz od volného konce odbočky.[12][13]

5 Zaměření poruch na metalických kabelech

Pro zaměřování poruch kabelů je více způsobů. Při zjištění poruchy můžeme zvolit vhodnou měřicí metodu pro její lokalizaci. U volby měřicích metod bychom měli přihlídnout na pokles izolačního odporu. Podle tohoto poklesu pak můžeme zvolit tu nejlepší možnou metodu.[12][13]

Pro izolační poruchy můžeme využít měřicí metody, které dělí se do těchto skupin:

1. Porušení izolace pod $50\text{ M}\Omega$. K dispozici je žíla s izolací stanovenou předpisem.
 - (a) Metoda Murrayova
 - (b) Metoda Ludvíkova
 - (c) Metoda Varleyova
 - (d) Metoda Grafova
 - (e) Metoda Heizelmannova
2. Porušení izolace pod $50\text{ M}\Omega$, kde není k dispozici žíla s normální izolací.
 - (a) Metoda Weberova
 - (b) Metoda Küpfmüllerova
 - (c) Metoda Poleckova
3. Vysokoohmová porucha nad $50\text{ M}\Omega$.
 - (a) Metoda Hectorova
 - (b) Vysokonapěťový můstek
4. Celý profil kabelu má značně sníženou izolaci.
 - (a) Metoda odděleného proudu

Další měřicí metody na lokalizaci poruchy žil se dělí do dvou skupin podle možnosti jejich použití.

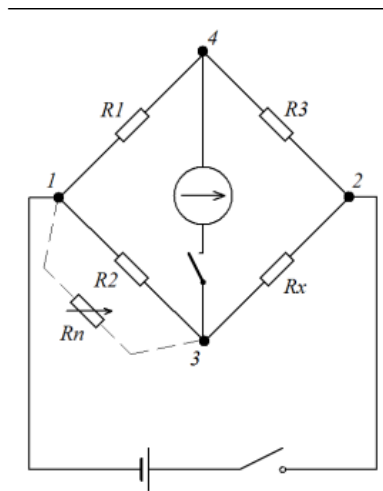
1. Měřicí metody, které lokalizují poruchu pomocí porovnání s vedlejší žílou.
 - (a) Metoda smyčky s použitím můstku (můstkové metody)
 - (b) Metoda kapacitní
2. Metody, které lokalizují poruchu přímo na poškozené žíle.
 - (a) Indukční metoda
 - (b) Impulsní metoda

5.1 Můstkové metody

Jedná se o nejstarší způsoby používané na zaměření poruch na vedeních. Vzdálenost poruchy od měřicího místa se určuje výpočtem po změření odporů. Abychom mohli touto metodou měřit, musíme znát informace o kabelu (například délku trasy). Nevýhodou pro nás je, že k nalezení poruchy potřebujeme pro měření oba konce vedení. U každé můstkové metody se využívá jiné připojení do trasy (každá metoda má svůj způsob připojení). U sdělovacích vedení se však stále používá, jelikož oproti novější TDR impulsní metodě se můstkové metody dají použít i v případě vyšších izolačních odporů. Jsou také oproti TDR metodě levnější.[12][13]

5.1.1 Wheatstonův můstek

Veškeré můstkové metody vychází z Wheatstonova můstku, který se skládá ze čtyř odporů, přičemž je jeden neznámý. Odporů nastavíme tak, aby mezi body 3 a 4 byl potenciál nulový, tudíž napětí mezi body 1, 4 a 1, 3 musí být stejné. Tím jsme splnili podmínku rovnováhy.[12][13]



Obrázek 11: Wheatstonův můstek [12]

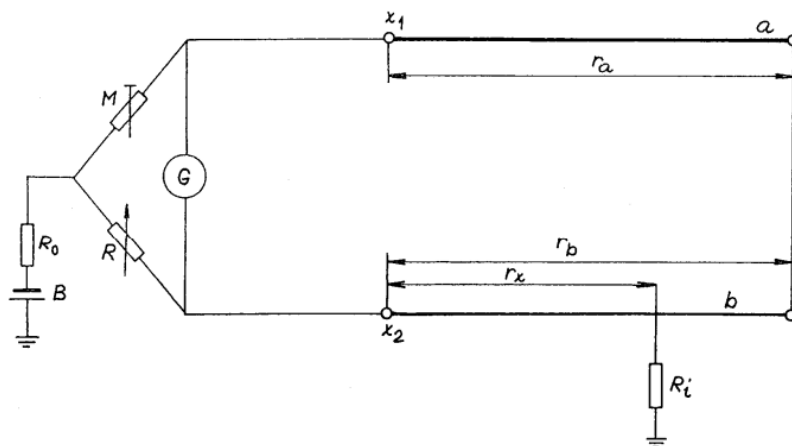
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad (16)$$

Výsledný neznámý odpor vypočítáme tak, že si za R_2 dosadíme regulovatelný srovnávací odpor R_n , a tím obdržíme výsledný vzorec:

$$R_x = R_n \cdot \frac{R_3}{R_1} \quad (17)$$

5.1.2 Murrayova metoda

Tato metoda je nejjednodušší aplikací Wheatstonova můstku. Využívá se pro měření izolačního odporu. Na měření je potřeba mít další žílu s neporušenou izolací, avšak musí mít stejnou délku jako žíla, na které chceme měřit poruchu. Tvoří jej dva nastavitelné odpory. Ramena můstku tvoří žíla s poruchou a vedlejší žíla bez poruchy. Žíly jsou na druhém konci spojeny a poté se nastavitelnými odpory můstek vyváží.[12][13]



Obrázek 12: Zapojení Murrayova můstku [12]

Pro vyvážení musí být splněna tato podmínka 18.

$$\frac{M}{R} = \frac{r_a + r_y}{r_x} \quad (18)$$

kde:

r_a je odpor dobré žíly $[\Omega]$,

r_y je odpor vadné žíly mezi místem poruchy a vzdáleným koncem $[\Omega]$,

r_x je odpor vadné žíly k místu poruchy $[\Omega]$.

Vyvážením můstku tedy dojde k rozdělení odporu smyčky r_{ab} v místě poruchy izolace vadné žíly na dva úseky, jejichž poměr je roven poměru známých odporů M a R . Úpravou podmínky 18 lze vyjádřit odpor k místu poruchy r_x vztahem 19.

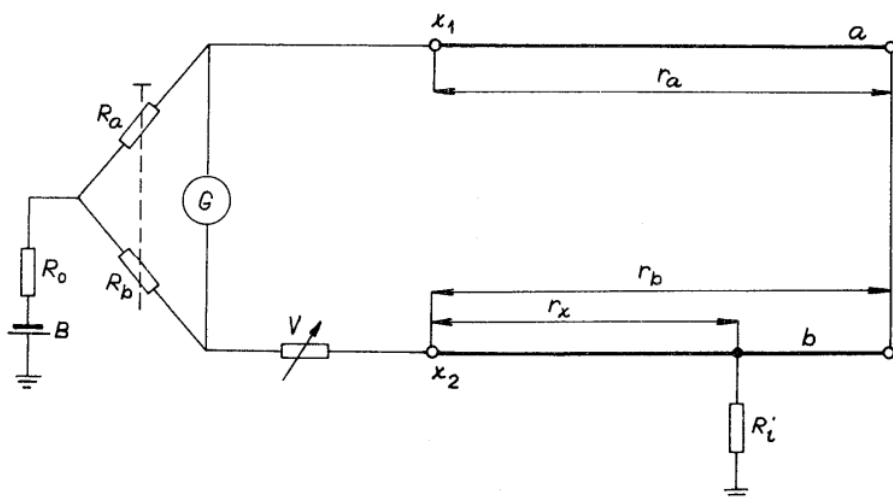
$$r_x = \frac{R \cdot r_{ab}}{M + R} \quad (19)$$

Jelikož odpor žíly je úměrný délce kabelu, tak i odpor smyčky r_{ab} je úměrný délce smyčky l_{ab} ($r_{ab} \sim l_{ab}$). Dosazením můžeme do vztahu 19 vyjádřit vzdálenost k místu poruchy l_x . Vyjádřeno vztahem 20.

$$l_x = \frac{R \cdot l_{ab}}{M + R} \quad (20)$$

5.1.3 Varleyova metoda

Tato metoda je rozšířením metody Murrayovy. Rozdíl spočívá v tom, že poměr odporů R_a a R_b , které jsou společně nastavitelné, je dán mocninou čísla 10. Tento pevně nastavený poměr, jehož hodnoty bývají 0,001-0,01-0,1-1-10-100000, se označuje A . Můstek je proto navíc doplněn o odpor V , jehož nastavováním se provádí vyrovnání. Na rozdíl od Murrayovy metody, která se více hodí pro zaměřování poruch na vzdáleném konci kabelu, se tato metoda více hodí na zaměřování izolačních poruch na blízkém konci kabelu.[12][13]



Obrázek 13: Zapojení Varleyovy metody [12]

Postup zaměřování je obdobný jako v předcházejícím zapojení.

$$\frac{R_a}{R_b} = A = \frac{r_a + r_y}{V + r_x} \quad (21)$$

Úpravou vztahu 21 dostaneme odpor žíly k místu poruchy r_x .

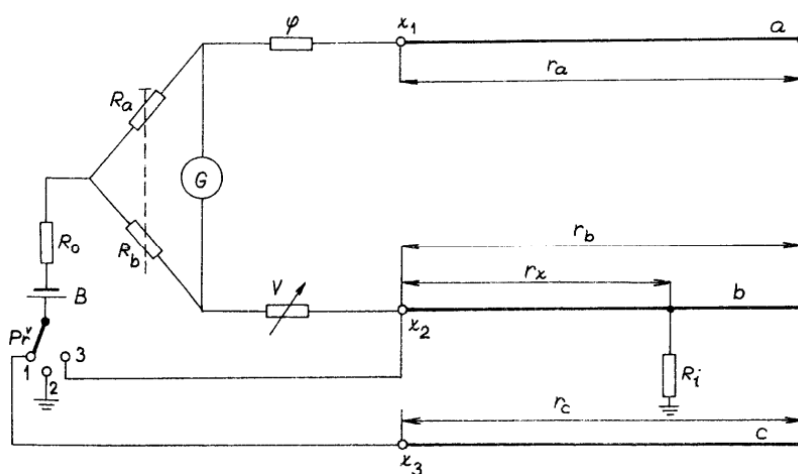
$$r_x = \frac{r_{ab} - AV}{A + 1} \quad (22)$$

Na základě předcházejících vztahů a úměrnosti odporu s délkou je tedy vzdálenost k místu poruchy l_x podle vztahu 23.

$$l_x = \frac{r_x \cdot l_{ab}}{r_{ab}} \quad (23)$$

5.1.4 Ludvíkova metoda

Tato metoda se používá v případě, že zaměřujeme poruchu na velmi krátkém kabelu. Odpory přívodů vůči smyčkovému odporu žil tedy nelze zanedbávat. [12][13]



Obrázek 14: Schéma Ludvíkovy metody [12]

Ze schématu (obrázek 14) můžeme vidět, že se jedná o tříbodové zapojení můstku založené na Varleyově metodě. Navíc je však můstek napájen na začátku a na konci měřeného kabelu, což vyžaduje k měření další dobrou žílu v kabelu, případně jiný pomocný vodič. Při každé poloze přepínače se provádí vyrovnání můstku odporovou dekádou V. Celkem se tedy dělají tři měření, ze kterých získáme hodnotu odporu V_1 , V_2 a V_3 . [12][13]

Z měření v poloze přepínače 1 a 3, tedy hodnot V_1 a V_3 , lze vypočítat odpor vadné žíly r_b vztahem 24.

$$r_b = \frac{A \cdot (V_3 - V_1)}{A + 1} \quad (24)$$

kde:

A je poměr odporů R_a/R_b , tedy hodnota daná mocninou čísla 10.

Z měření v poloze přepínače 2 a 3, tedy hodnot V_2 a V_3 , lze vypočítat odpor vadné žíly k poruše r_x vztahem 25.

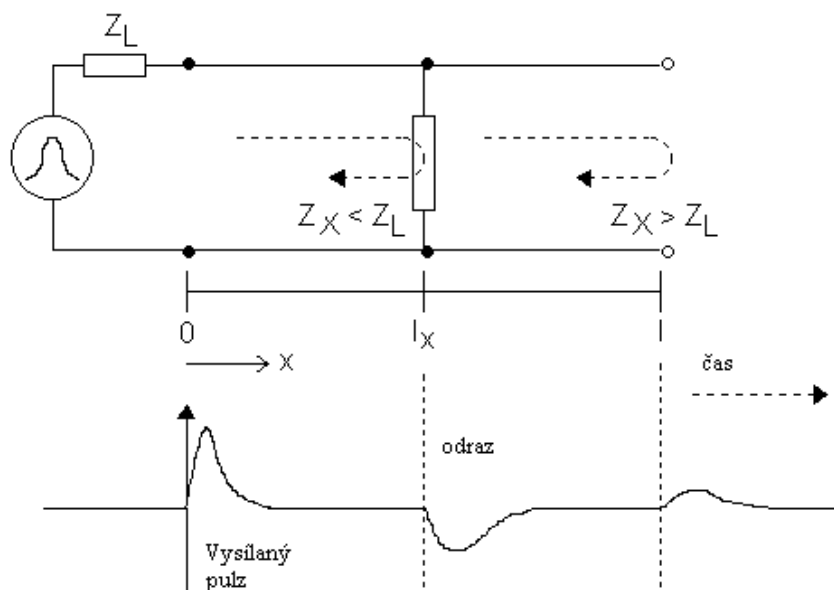
$$r_x = \frac{A \cdot (V_3 - V_2)}{A + 1} \quad (25)$$

Za předpokladu homogenního vedení, tedy že odpor žíly r_b je úměrný délce kabelu l , je vzdálenost k místu poruchy l_x dána vztahem 26.

$$l_x = \frac{r_x}{r_b} \cdot l = \frac{V_3 - V_2}{V_3 - V_1} \cdot l \quad (26)$$

5.2 Reflektometrická metoda TDR

Tato metoda funguje na principu vyslání pulzu do vedení. Po vrácení pulzu zpět do vysílače se pomocí známé rychlosti šíření vypočítá, jak daleko se od vysílače nachází porucha. Na výsledném zobrazení trasy pak vidíme výraznější změny amplitud. Měřič odrazu dokáže změřit délky párů, lokalizovat impedanční nehomogenity, odbočky, vodu vniklou do kabelu, záměnu párů a další. Existují dva typy TDR přístroje, první typ nám zobrazí průběh trasy s odrazy na displeji a druhý typ zobrazí pouze vzdálenosti od závad.[8][12][13]

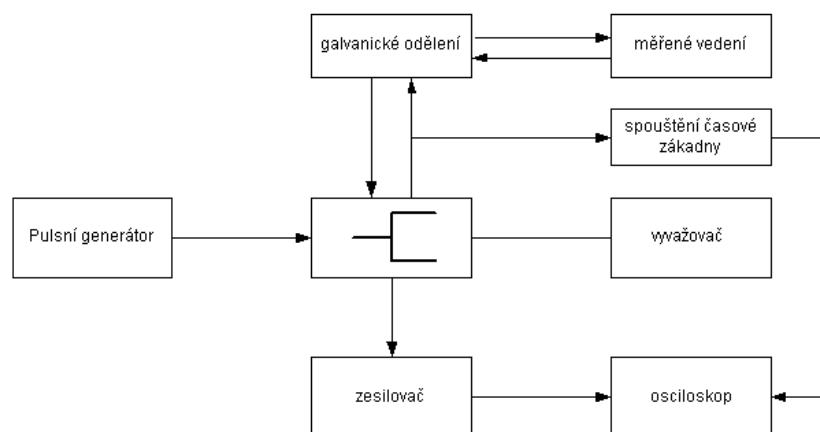


Obrázek 15: Schéma zapojení TDR a průběh trasy [8]

Jak vidíme na obrázku, změny impedance jsou pokaždé slabší. Příčinou je, že se vždy část pulsu odrazí zpět, čímž se oslabuje.[8]

5.2.1 Blokové schéma TDR přístroje

Testovací zařízení se skládá z pulsního generátoru, obvodu pro oddělení a osciloskopu. Oddělení vysílaného signálu od přijímaného může být provedeno mnoha způsoby, jako například telekomunikační vidlicí. Tento obvod potlačí vysílaný signál, který by znemožňoval měření odraženého signálu. Takto je možné zobrazit a měřit odrazy přímo z výstupu TDR měřidla bez mrtvé zóny 16. [8]



Obrázek 16: Blokové schéma přístroje [8]

5.2.2 Rychlost šíření pulsu

Je nutné znát rychlost šíření pro správnou lokalizaci poruchy. Kabely mají své specifické rychlosti šíření a jsou určovány izolačními materiály. Používá se poměr rychlosti šíření v daném kabelu ku rychlosti světla ve vakuu a označuje se jako NVP (Nominal Velocity of Propagation) nebo VOP (Velocity of Propagation). Tento poměr odpovídá poloviční rychlosti šíření kabelem.[8][12][13]

Změřením doby t_x , kterou potřebuje signál k dosažení místa poruchy a na cestu zpět, můžeme za předpokladu, že známe rychlost šíření v daném kabelu (tedy jeho e_R), získat vzdálenost poruchy l_x :

$$l_x = \frac{v}{2} t_x = \frac{cNVP}{2} t_x \quad (27)$$

5.2.3 Faktory ovlivňující měření

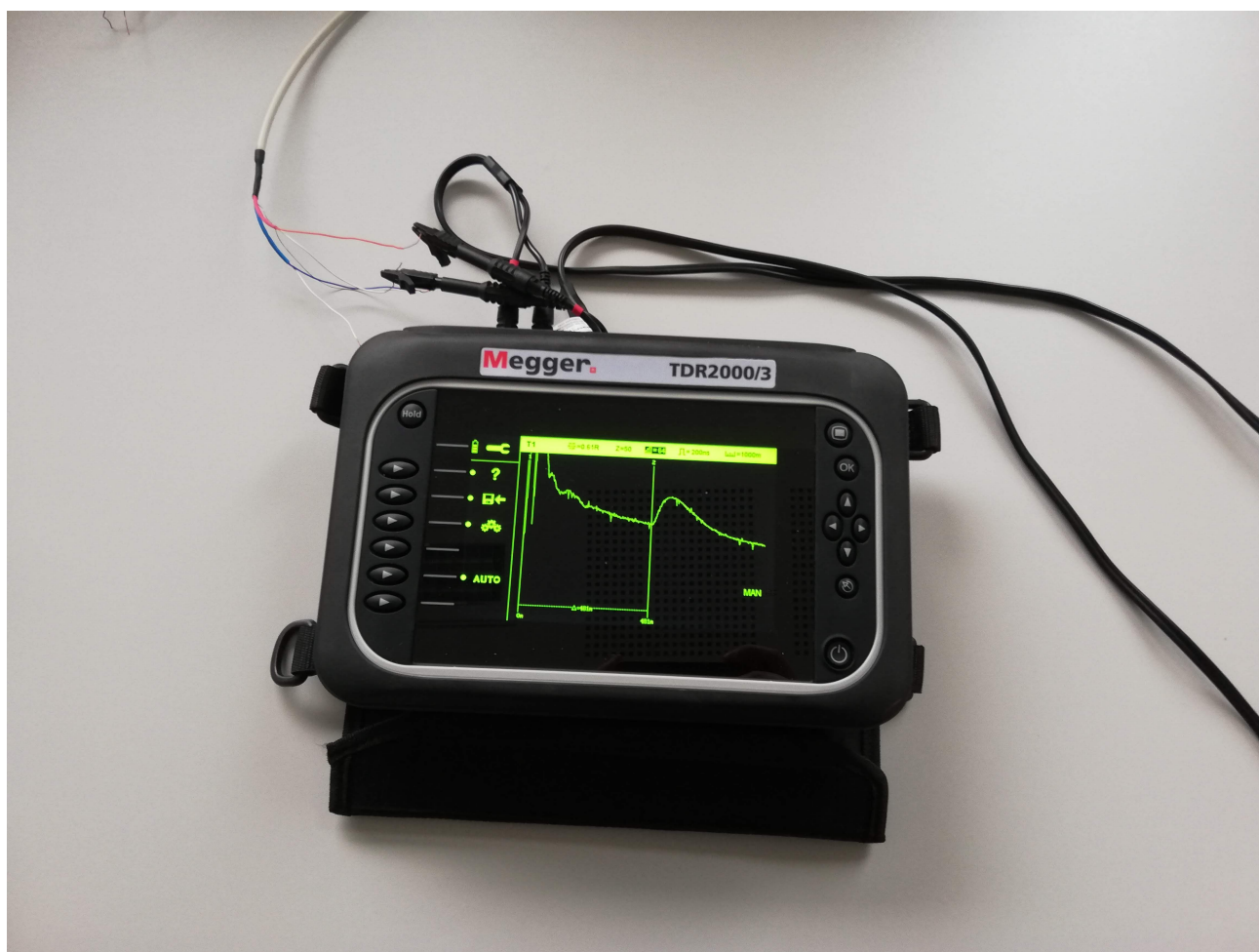
Hlavním faktorem je amplituda, příliš nízká má slabý dosah a příliš vysoká může znemožnit zobrazení signálu na přístroji, což ztěžuje lokalizaci závady. Zpravidla se používá amplituda do 20 V. Dalším faktorem je šířka pulsu. S větší šířkou pulsu se zvyšuje i energie a v důsledku toho i dosah. Nevýhodou však je, že pak nedokážeme lokalizovat závady v blízkosti měřícího přístroje, ani rozeznat více závad nacházejících se poblíž sebe, ty se pak jeví jako jedna chyba. Šířka pulsu se tedy určuje v závislosti na délce měřeného vedení, lze ji nastavit například na 2, 10, 100, 1000, 2000, 4000 a 6000 ns. [8]

5.2.4 Reflektometr použitý u měření

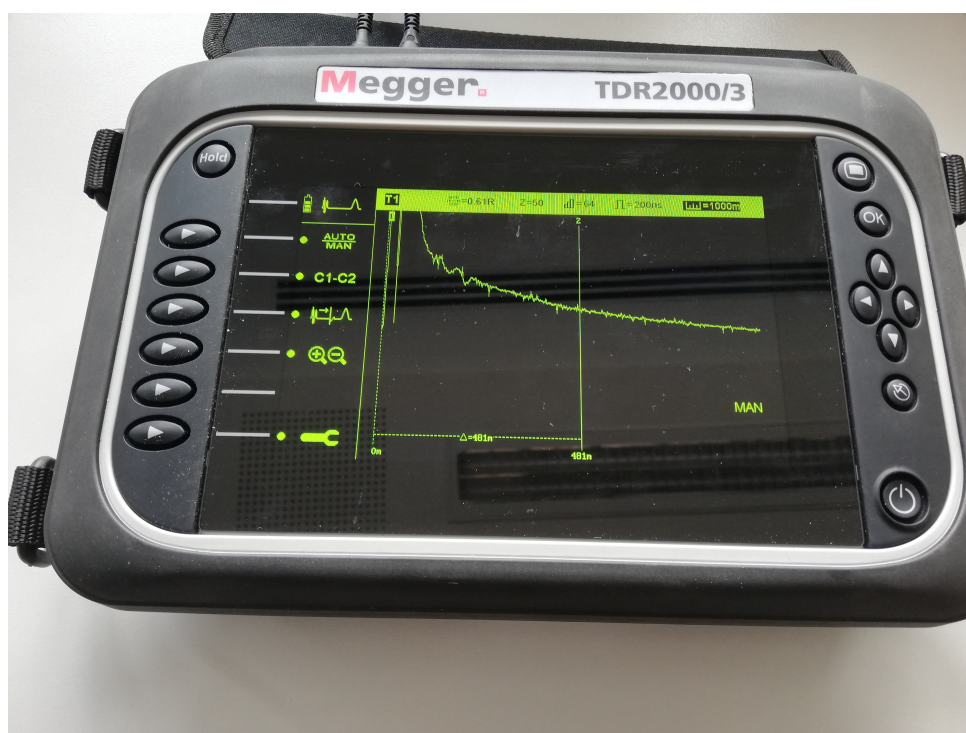
Při měření byl použit dostupný reflektometr Megger TDR-2000/3. [14]

Jedná se o dvoukanálový reflektometr určený pro užití na všech metalických párových kabelech:

- Napěťová ochrana vstupu 600 V
- Rozsah měření 0,1 m - 20 km (v závislosti na rychlosti a typu kabelu) Na výstupním rozhraní lze nastavit impedanci (25, 50, 75, 100, 125)
- Pro splnění požadavků kabelu je možné nastavit rychlost šíření v rozmezí 0,2 - 0,99
- Podsvícený, barevný displej



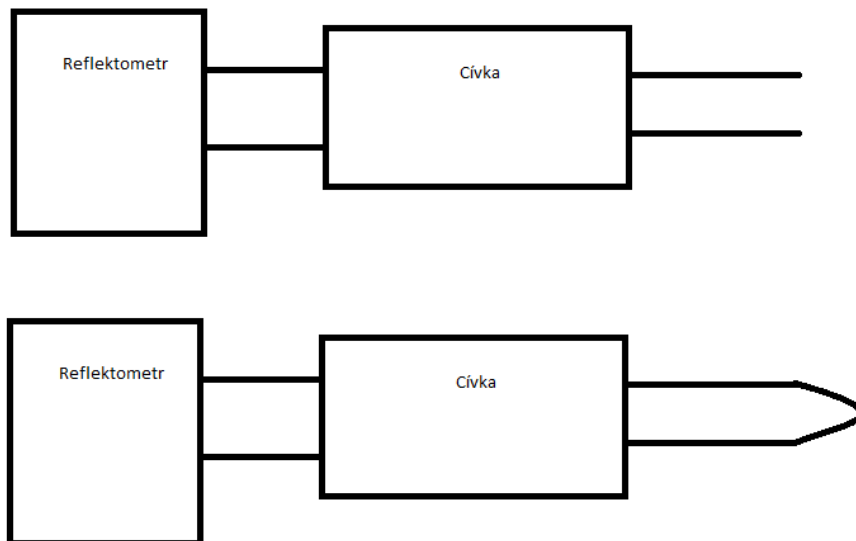
Obrázek 17: Reflektometr při měření



Obrázek 18: Reflektometr detail na displej

6 Měření

V první části měření jsem kalibroval reflektometr pomocí referenčního kabelu o délce 20 metrů. V laboratoři jsem s takto nastaveným reflektometrem proměřil cívky. Po měření s referenčním nastavením přístroje jsem upravil velocity faktor, aby naměřená délka co nejvíce odpovídala odečtené délce kabelu.

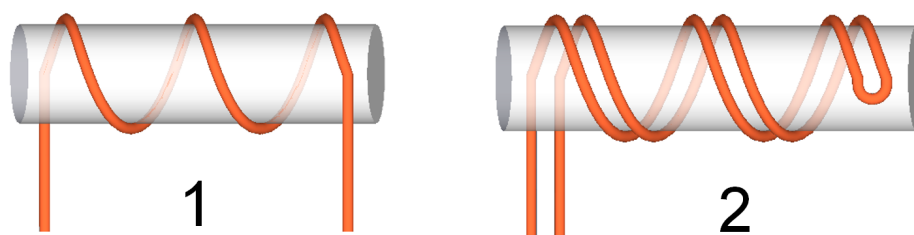


Obrázek 19: Schéma zapojení na prázdkno a na krátko

6.1 Tabulky

Legenda k tabulkám:

- vf = Velocity faktor (nastavitelný na použitém reflektometru)
- m/b = pár v kabelu s barevným značením (modrá/bílá)
- o/b = pár v kabelu s barevným značením (oranžová/bílá)
- Px Cx = číslo pracoviště a číslo cívky
- bifilární, jednoduché = způsoby namotání cívek viz. obrázek 20



Obrázek 20: První jednoduché namotání, druhé bifilární namotání [15]

6.1.1 Výsledky z měření na SYKY kabelech

Cívka	P1 C1	SYKY	bifilární	Cívka	P1 C1	SYKY	bifilární
délka	odečtena	502 m		délka	odečtena	502 m	
vf	na prázdno	0,58	468 m	vf	na prázdno	0,62	501 m
m/b	na krátko	0,58	468 m	m/b	na krátko	0,62	501 m
vf	na prázdno	0,58	451 m	vf	na prázdno	0,64	502 m
o/b	na krátko	0,58	451 m	o/b	na krátko	0,64	502 m

Cívka	P2 C7	SYKY	jednoduché	Cívka	P2 C7	SYKY	jednoduché
délka	odečtena	996 m		délka	odečtena	996 m	
vf	na prázdno	0,58	942 m	vf	na prázdno	0,62	1008 m
m/b	na krátko	0,58	942 m	m/b	na krátko	0,62	1008 m
vf	na prázdno	0,58	939 m	vf	na prázdno	0,62	1004 m
o/b	na krátko	0,58	939 m	o/b	na krátko	0,62	1004 m

Cívka	P2C2	SYKY	bifilární	Cívka	P2C2	SYKY	bifilární
délka	odečtena	459 m		délka	odečtena	459 m	
vf	na prázdno	0,58	410 m	vf	na prázdno	0,65	460 m
m/b	na krátko	0,58	410 m	m/b	na krátko	0,65	460 m
vf	na prázdno	0,58	413 m	vf	na prázdno	0,64	461 m
o/b	na krátko	0,58	413 m	o/b	na krátko	0,64	461 m

Cívka	P3 C8	SYKY	jednoduché	Cívka	P3 C8	SYKY	jednoduché
délka	odečtena	995 m		délka	odečtena	995 m	
vf	na prázdno	0,58	908 m	vf	na prázdno	0,64	1002 m
m/b	na krátko	0,58	908 m	m/b	na krátko	0,64	1002 m
vf	na prázdno	0,58	915 m	vf	na prázdno	0,63	997 m
o/b	na krátko	0,58	915 m	o/b	na krátko	0,63	997 m

Cívka	P3 C3	SYKY	bifilární	Cívka	P3 C3	SYKY	bifilární
délka	odečtena	496 m		délka	odečtena	496 m	
vf	na prázdnno	0,58	446 m	vf	na prázdnno	0,65	500 m
m/b	na krátko	0,58	446 m	m/b	na krátko	0,65	500 m
vf	na prázdnno	0,58	446 m	vf	na prázdnno	0,65	496 m
o/b	na krátko	0,58	446 m	o/b	na krátko	0,65	496 m

Cívka	P4 C9	SYKY	jednoduché	Cívka	P4 C9	SYKY	jednoduché
délka	odečtena	997 m		délka	odečtena	997 m	
vf	na prázdnno	0,58	915 m	vf	na prázdnno	0,64	1009 m
m/b	na krátko	0,58	915 m	m/b	na krátko	0,64	1009 m
vf	na prázdnno	0,58	915 m	vf	na prázdnno	0,63	997 m
o/b	na krátko	0,58	915 m	o/b	na krátko	0,63	997 m

Cívka	P4 C4	SYKY	bifilární	Cívka	P4 C4	SYKY	bifilární
délka	odečtena	495 m		délka	odečtena	495 m	
vf	na prázdnno	0,58	421 m	vf	na prázdnno	0,69	501 m
m/b	na krátko	0,58	421 m	m/b	na krátko	0,69	501 m
vf	na prázdnno	0,58	449 m	vf	na prázdnno	0,64	496 m
o/b	na krátko	0,58	449 m	o/b	na krátko	0,64	496 m

Cívka	P5 C10	SYKY	jednoduché	Cívka	P5 C10	SYKY	jednoduché
délka	odečtena	996 m		délka	odečtena	996 m	
vf	na prázdnno	0,58	915 m	vf	na prázdnno	0,64	1009 m
m/b	na krátko	0,58	915 m	m/b	na krátko	0,64	1009 m
vf	na prázdnno	0,58	925 m	vf	na prázdnno	0,62	996 m
o/b	na krátko	0,58	925 m	o/b	na krátko	0,62	996 m

Cívka	P5 C5	SYKY	bifilární	Cívka	P5 C5	SYKY	bifilární
délka	odečtena	494 m		délka	odečtena	494 m	
vf	na prázdnno	0,58	440 m	vf	na prázdnno	0,65	494 m
m/b	na krátko	0,58	440 m	m/b	na krátko	0,65	494 m
vf	na prázdnno	0,58	445 m	vf	na prázdnno	0,62	496 m
o/b	na krátko	0,58	445 m	o/b	na krátko	0,62	496 m

6.1.2 Výsledky z měření na SYKFY kabelech

Cívka	P5 C15	SYKFY	jednoduché	Cívka	P5 C15	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	500 m		délka	odečtena	500 m	
vf	na prázdnno	0,61	490 m	vf	na prázdnno	0,63	506 m
m/b	na krátko	0,61	490 m	m/b	na krátko	0,63	506 m
vf	na prázdnno	0,61	488 m	vf	na prázdnno	0,63	505 m
o/b	na krátko	0,61	488 m	o/b	na krátko	0,63	505 m

Cívka	P5 C20	SYKFY	jednoduché	Cívka	P5 C20	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	9002 m		délka	odečtena	9002 m	
vf	na prázdnno	0,61	8930 m	vf	na prázdnno	0,62	9076 m
m/b	na krátko	0,61	8930 m	m/b	na krátko	0,62	9073 m
vf	na prázdnno	0,61	8491 m	vf	na prázdnno	0,63	9011 m
o/b	na krátko	0,61	8491 m	o/b	na krátko	0,63	9011 m

Cívka	P4 C14	SYKFY	jednoduché	Cívka	P4 C14	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	459 m		délka	odečtena	459 m	
vf	na prázdnno	0,61	478 m	vf	na prázdnno	0,6	466 m
m/b	na krátko	0,61	478 m	m/b	na krátko	0,6	466 m
vf	na prázdnno	0,61	477 m	vf	na prázdnno	0,59	464 m
o/b	na krátko	0,61	477 m	o/b	na krátko	0,59	464 m

Cívka	P3 C13	SYKFY	jednoduché	Cívka	P3 C13	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	499 m		délka	odečtena	499 m	
vf	na prázdnno	0,61	488 m	vf	na prázdnno	0,63	505 m
m/b	na krátko	0,61	488 m	m/b	na krátko	0,63	505 m
vf	na prázdnno	0,61	487 m	vf	na prázdnno	0,63	501 m
o/b	na krátko	0,61	487 m	o/b	na krátko	0,63	501 m

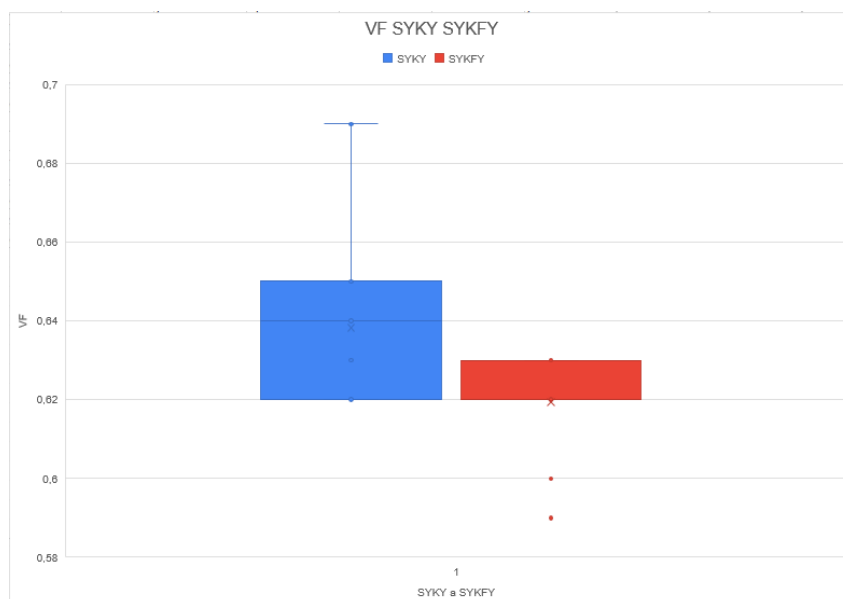
Cívka	P2 C17	SYKFY	jednoduché	Cívka	P2 C17	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	997 m		délka	odečtena	997 m	
vf	na prázdnno	0,61	995 m	vf	na prázdnno	0,62	1011 m
m/b	na krátko	0,61	995 m	m/b	na krátko	0,62	1011 m
vf	na prázdnno	0,61	1017 m	vf	na prázdnno	0,6	997 m
o/b	na krátko	0,61	1017 m	o/b	na krátko	0,6	997 m

Cívka	P2 C12	SYKFY	jednoduché	Cívka	P2 C12	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	498 m		délka	odečtena	489 m	
vf	na prázdkno	0,61	484 m	vf	na prázdkno	0,63	500 m
m/b	na krátko	0,61	484 m	m/b	na krátko	0,63	500 m
vf	na prázdkno	0,61	486 m	vf	na prázdkno	0,62	492 m
o/b	na krátko	0,61	486 m	o/b	na krátko	0,62	492 m

Cívka	P1 C11	SYKFY	jednoduché	Cívka	P1 C11	SYKFY	jednoduché
délka	odečtena	489 m		délka	odečtena	489 m	
vf	na prázdkno	0,61	484 m	vf	na prázdkno	0,62	491 m
m/b	na krátko	0,61	484 m	m/b	na krátko	0,62	491 m
vf	na prázdkno	0,61	486 m	vf	na prázdkno	0,62	494 m
o/b	na krátko	0,61	486 m	o/b	na krátko	0,62	494 m

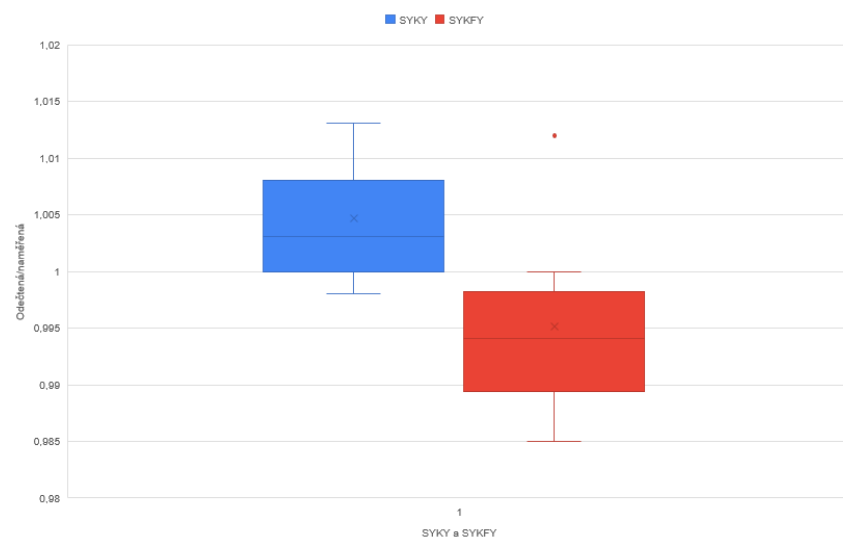
6.2 Grafy

1. Graf znázorňující rozsahy nastaveného Velocity faktoru podle odečtených délek z potisků na kabelech, viz. obrázek 21:



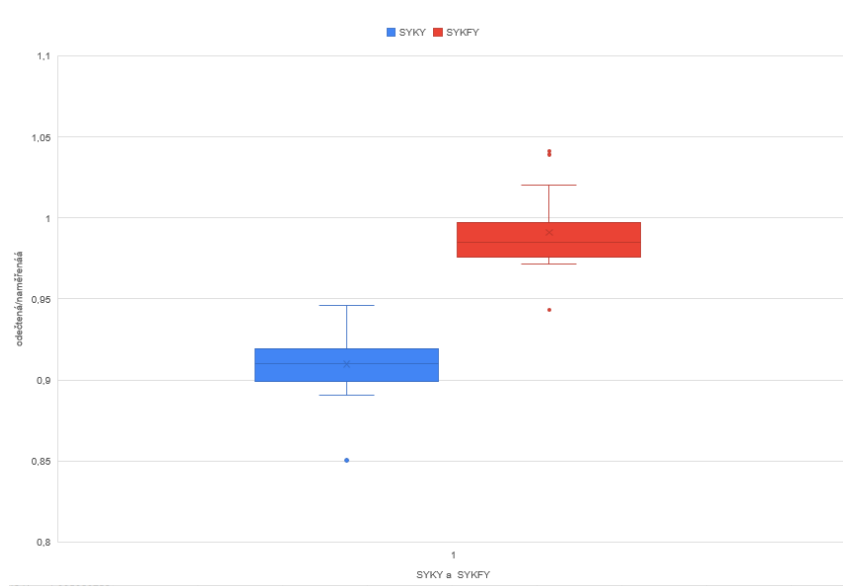
Obrázek 21: Nastavené VF podle délek kabelů

2. Graf znázorňující podíly délek naměřená/odečtená s nastaveným VF podle odečtených délek, viz. obrázek 22:



Obrázek 22: Rozsahy podílů délek s nastaveným VF

3. Graf znázorňující podíly délek naměřená/odečtená s referenčním VF, viz. obrázek 29:



Obrázek 23: Rozsahy podílů délek s referenčním VF

7 Simulace

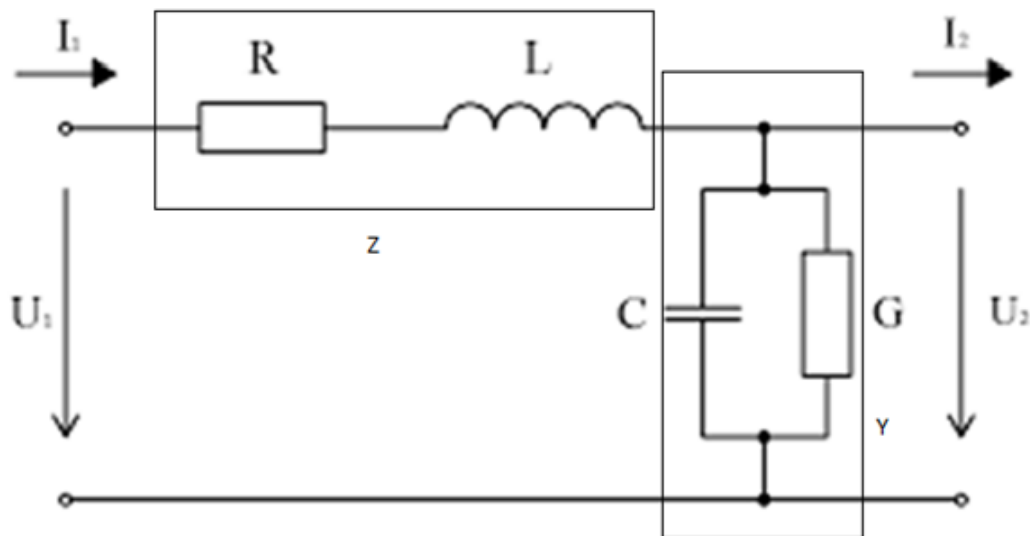
Simulace vedení probíhala v programu Matlab Simulink a v programu Scilab Xcos. Simuloval jsem element vedení obsahující základní parametry vedení, odpor, indukci, kapacitu a svod. Hodnoty jednotlivých parametrů jsem zadával podle technických podmínek Kabelovny Podmokly.[1] Hodnoty:

- Odpor = $97,8 \text{ } [\Omega]$
- Defaultní hodnota při tvorbě obvodu = 1 [mH] , velikost indukce nebyla součástí zadání
- Kapacita = 120 [nF]
- Svod = $500 \text{ [M}\Omega\text{]}$

7.1 Teoretická část simulace

Teoretická část simulace obsahuje výpočty podle nastavených hodnot. Simulovaný obvod jsem rozdělil na dvě části. Impedanční část Z obsahuje odpor a indukci, admitanční část Y kapacitu a svod.

7.1.1 Schéma pro výpočty



Obrázek 24: Rozdělení obvodu na části impedanční a admitanční [13]

7.1.2 Vzorečky použité pro výpočty v teoretické části simulace

$$Z = R + j\omega L \quad (28)$$

$$Y = G + j\omega C \quad (29)$$

$$I = \frac{U_{in}}{Z + \frac{1}{Y}} \quad (30)$$

$$U_{out} = I \cdot \frac{1}{Y} \quad (31)$$

$$H = \frac{U_{out}}{U_{in}} \quad (32)$$

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{1}{RG + j\omega LG + j\omega CR - \omega^2 LC + 1} = \quad (33)$$

$$= \frac{1}{1 + RG + \omega^2 LC + j\omega(RC + LG)} = \quad (34)$$

$$= \frac{1 + RG + \omega^2 LC - j\omega(RC + LG)}{(1 + RG - \omega^2 LC)^2 + \omega^2(LG + CR)^2} = \quad (35)$$

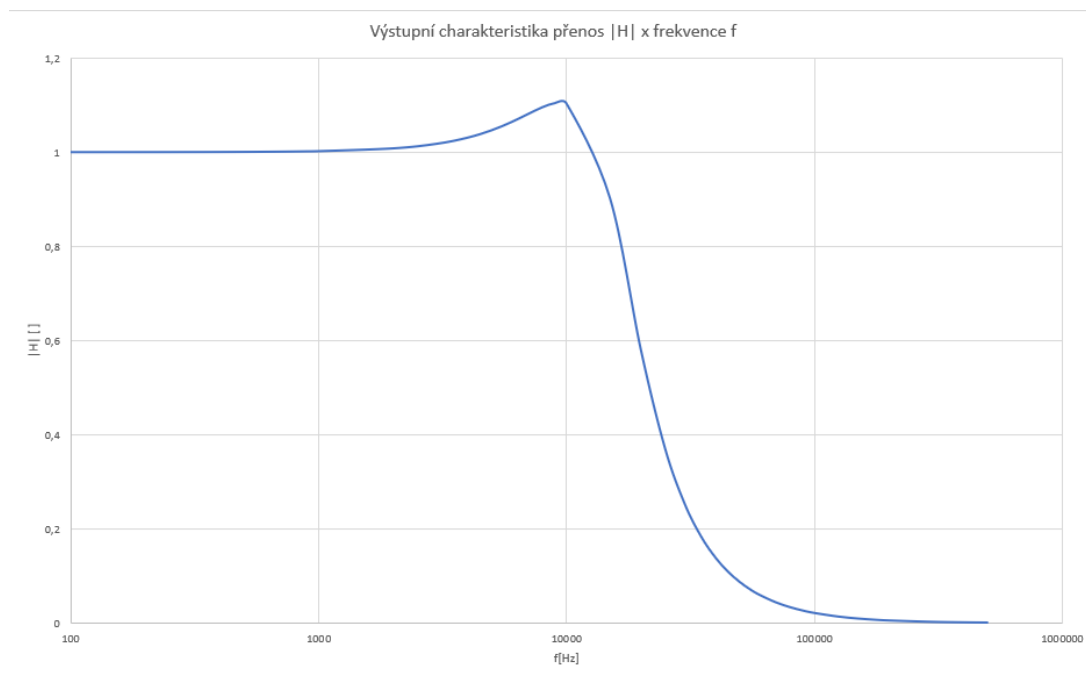
$$= \frac{1 + RG + \omega^2 LC - j\omega(RC + LG)}{(1 + RG)^2 + 2(1 + RG)\omega^2 LC + \omega^4 L^2 C^2 + \omega^2 L^2 G^2 - L\omega^2 RCLG + \omega^2 C^2 R^2} \quad (36)$$

$$|H| = \left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = \sqrt{\frac{(1 + RG - \omega^2 LC)^2 + \omega^2(RC + LG)^2}{[(1 + RG - \omega^2 LC) + \omega^2(RC + LG)^2]^2}} \quad (37)$$

7.1.3 Tabulka vypočítaných hodnot

f [Hz]	U_{in} [V]	U_{out} [V]	H []	f [Hz]	U_{in} [V]	U_{out} [V]	H []
100	10	10,00019990	1,000019990	20000	10	5,796770888	0,579677089
200	10	10,00080542	1,000080542	25000	10	3,715573079	0,371557308
300	10	10,00181442	1,000181442	30000	10	2,53629947	0,253629947
400	10	10,00322658	1,000322658	35000	10	1,833924064	0,183392406
500	10	10,00504148	1,000504148	40000	10	1,386823552	0,138682355
600	10	10,00725856	1,000725856	45000	10	1,085578654	0,108557865
700	10	10,00987713	1,000987713	50000	10	0,873118358	0,087311836
800	10	10,01289638	1,001289638	55000	10	0,717671317	0,071767132
900	10	10,01631537	1,001631537	60000	10	0,600486713	0,060048671
1000	10	10,02013303	1,002013303	70000	10	0,438497425	0,043849743
2000	10	10,07989625	1,007989625	80000	10	0,334369867	0,033436987
3000	10	10,17718814	1,017718814	90000	10	0,263451194	0,026345119
4000	10	10,30791546	1,030791546	100000	10	0,212962122	0,021296212
5000	10	10,46506995	1,046506995	125000	10	0,135866827	0,013586683
6000	10	10,63743495	1,063743495	150000	10	0,094189034	0,009418903
7000	10	10,80807710	1,080807710	175000	10	0,069127655	0,006912766
8000	10	10,95309841	1,095309841	200000	10	0,052889776	0,005288978
9000	10	11,04162431	1,104162431	300000	10	0,023477388	0,002347739
10000	10	11,03844375	1,103844375	400000	10	0,013200274	0,001320027
15000	10	9,02482653	0,902482653	500000	10	0,008446468	0,000844647

7.1.4 Výsledná charakteristika

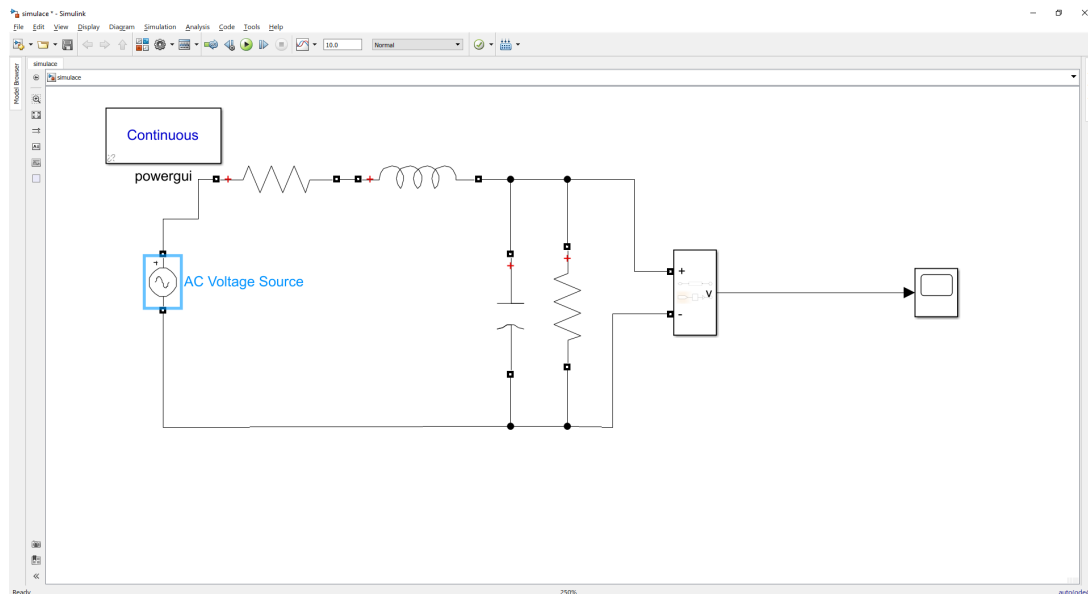


Obrázek 25: Výsledná charakteristika z vypočítaných hodnot, osa x odpovídá frekvenci f [Hz] a osa y odpovídá absolutní hodnotě přenosu $|H|$ []

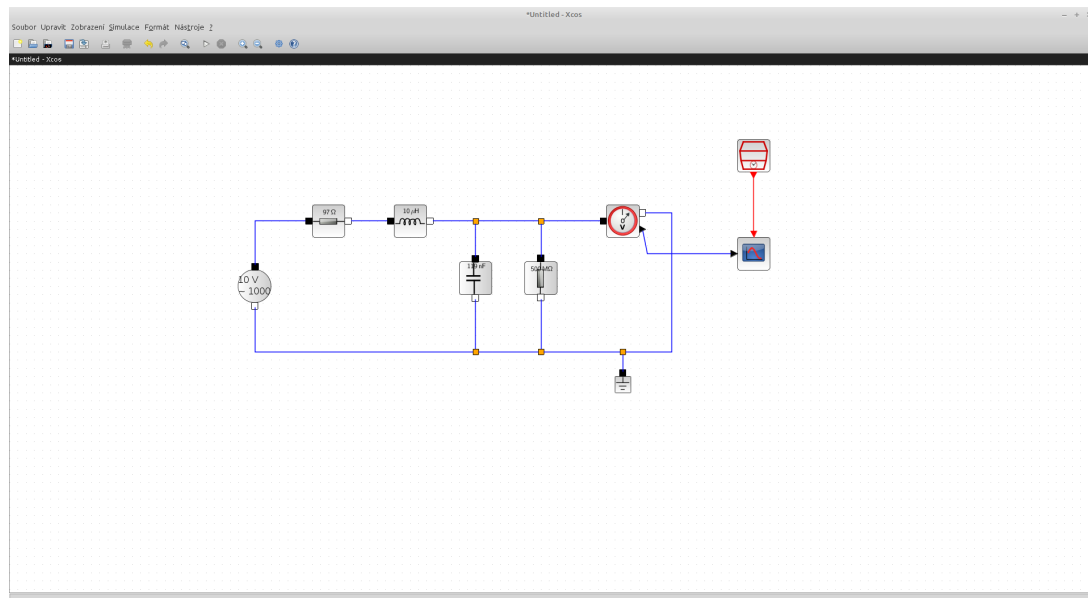
7.2 Praktická část simulace

7.2.1 Schémata simulací

Následující snímky ukazují schémata zapojení použita pro simulaci.



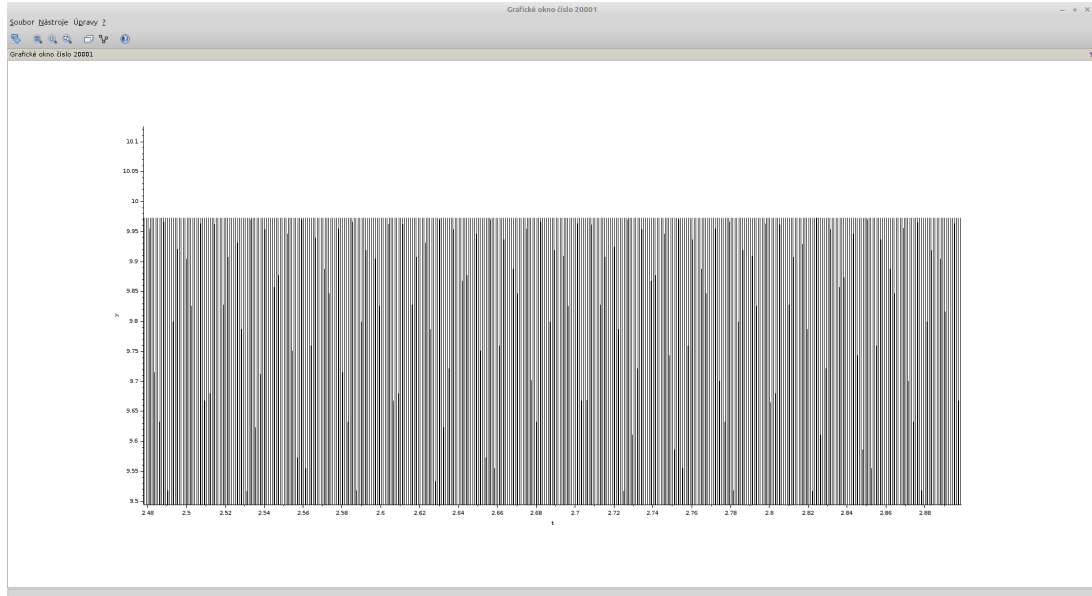
Obrázek 26: Snímek ze simulace v programu Matlab Simulink



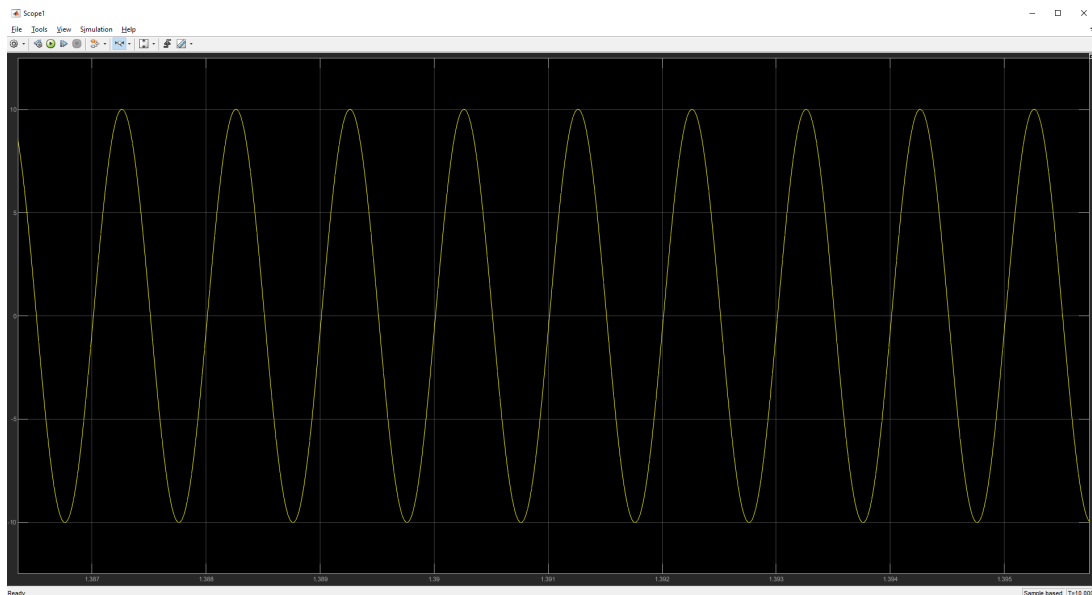
Obrázek 27: Snímek ze simulace v programu Scilab Xcos

7.2.2 Průběhy simulací

Následující snímky ukazují grafické zobrazení simulací. Je zde nastaveno konstantní vstupní napětí $U_{in} = 10 \text{ V}$ a v obou programech nastavena frekvence na $f = 1000 \text{ Hz}$.



Obrázek 28: Snímek ze simulace v programu Scilab Xcos, výstupní graf odpovídající $U_{in} = 10 \text{ V}$ a $f = 1000 \text{ Hz}$



Obrázek 29: Snímek ze simulace v programu Matlab Simulink, výstupní graf odpovídající $U_{in} = 10 \text{ V}$ a $f = 1000 \text{ Hz}$

7.2.3 Tabulka Matlab Simulink

Tabulka znázorňující výsledky simulace. Vstupní napětí U_{in} [V] je konstantní. Výstupní napětí U_{out} [V] se liší podle měnící se frekvence f [Hz].

Tabulka výsledků ze simulace Matlab Simulink					
U_{in} [V]	f [Hz]	U_{out} [V]	U_{in} [V]	f [Hz]	U_{out} [V]
10	100	10	10	20000	5,79
10	200	10	10	25000	3,714
10	300	10	10	30000	2,529
10	400	10	10	35000	1,825
10	500	10	10	40000	1,386
10	600	10	10	45000	1,085
10	700	10	10	50000	0,873
10	800	10	10	55000	0,717
10	900	10	10	60000	0,581
10	1000	10	10	70000	0,436
10	2000	10,08	10	80000	0,334
10	3000	10,176	10	90000	0,263
10	4000	10,307	10	100000	0,212
10	5000	10,465	10	125000	0,135
10	6000	10,63	10	150000	0,0942
10	7000	10,808	10	175000	0,069
10	8000	10,952	10	200000	0,0529
10	9000	11,04	10	300000	0,0234
10	10000	11,037	10	400000	0,0131
10	15000	9,022	10	500000	0,008

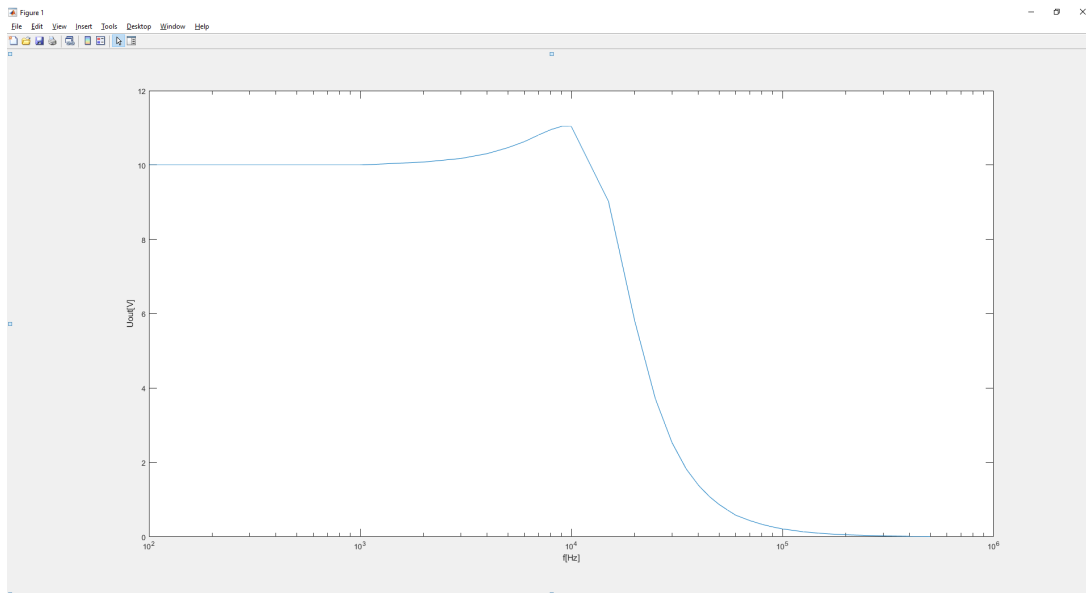
7.2.4 Tabulka Scilab Xcos

Tabulka znázorňující výsledky simulace. Vstupní napětí U_{in} [V] je konstantní. Výstupní napětí U_{out} [V] se liší podle měnící se frekvence f [Hz].

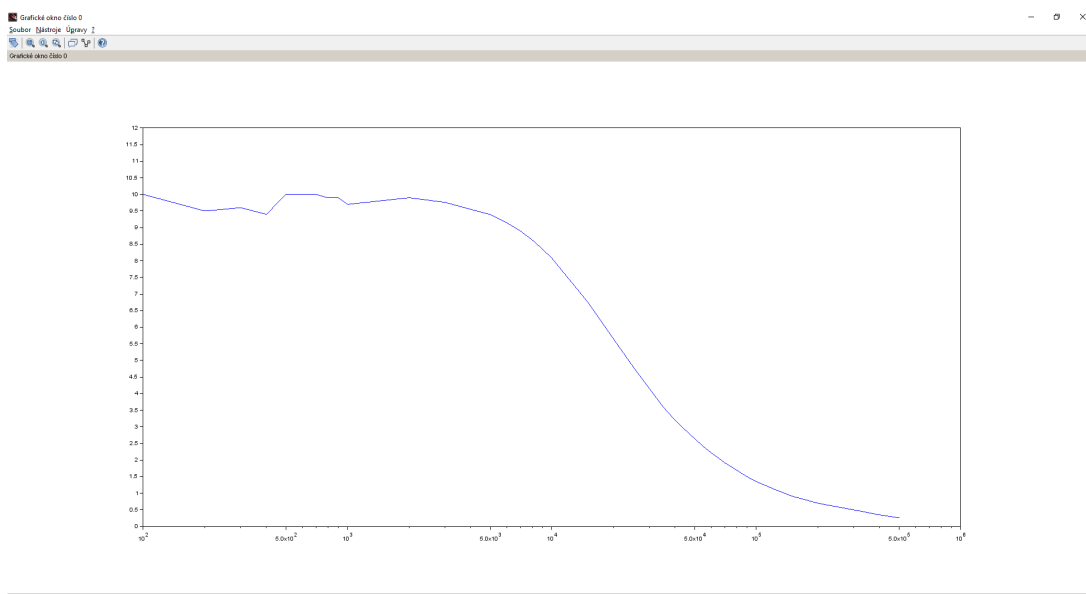
Tabulka výsledků ze simulace Scilab Xcos					
U_{in} [V]	f [Hz]	U_{out} [V]	U_{in} [V]	f [Hz]	U_{out} [V]
10	100	10	10	20000	5,65
10	200	9,5	10	25000	4,8
10	300	9,6	10	30000	4,15
10	400	9,4	10	35000	3,6
10	500	10	10	40000	3,2
10	600	10	10	45000	2,9
10	700	10	10	50000	2,64
10	800	9,9	10	55000	2,41
10	900	9,9	10	60000	2,225
10	1000	9,7	10	70000	1,92
10	2000	9,9	10	80000	1,7
10	3000	9,76	10	90000	1,5
10	4000	9,55	10	100000	1,35
10	5000	9,392	10	125000	1,1
10	6000	9,15	10	150000	0,91
10	7000	8,9	10	175000	0,8
10	8000	8,63	10	200000	0,7
10	9000	8,35	10	300000	0,5
10	10000	8,073	10	400000	0,35
10	15000	6,75	10	500000	0,26

7.2.5 Výstupní charakteristiky

Následující snímky ukazují výstupní charakteristiky ze simulace. Osa x ukazuje frekvenci f [Hz]. Osa y ukazuje výstupní napětí U_{out} [V]



Obrázek 30: Výstupní charakteristika Simulink



Obrázek 31: Výstupní charakteristika Xcos

7.3 Meření poruch

Po simulaci elementu vedení následuje měření poruch, kterým se ve své bakalářské práci (pod vedením doktorky Ivy Petříkové) již zabýval student Mikoláš Lebeda. Ten zpracoval mimo jiné i měření poruch za pomoci metod TDR a RFL na metalických vedeních, proto se na tuto práci odkazují. [13]

Závěr

V teoretické části své práce jsem uvedl informace o symetrických metalických kabelech, o sdělovacích kabelech SYKY a SYKFY a o datových UTP kabelech. Popsal jsem způsoby značení daných kabelů, jejich složení a k čemu se využívají. Uvedl jsem a popsal primární a sekundární parametry metalického vedení.

V další části práce popisuji modely vedení pro simulaci primárních parametrů a uvádím zde sedmiparametrový a třináctiparametrový model vedení. Dále se věnuji typickým poruchám na metalických vedeních a metodám, kterými jsou tyto poruchy řešeny. Popsal jsem základní můstkové metody pro řešení poruch a metodu impulsní, která se provádí pomocí reflektometru.

V praktické části jsem nejdříve reflektometrem v laboratoři proměřil celkem devět cívek SYKY kabelů a sedm cívek SYKFY kabelů. Po měření jsem porovnával délky, které jsem odečetl z potisků kabelů a naměřené délky. Výsledné hodnoty vyšly podobně. V druhé části jsem provedl simulace. Nejprve jsem pomocí vzorečků vypočítal výstupní napětí a z výsledků vytvořil charakteristiku průběhu na elementu vedení. Hodnoty jednotlivých součástí ve schématu jsem převzal od výrobce kabelů. Hlavní část simulace proběhla v počítačových programech Matlab Simulink a Scilab Xcos, ve kterých jsem vytvořil schéma elementu vedení a nastavil na něm hodnoty udávané výrobcem. Výsledky v početní části simulace se téměř shodovaly s výsledky ze simulace v programu Matlab Simulink, u programu Scilab Xcos byly patrné větší rozdíly. Ve všech případech však došlo k přibližně stejnému chování výstupního napětí. Z výsledků jsem vytvořil tabulky a grafy pro lepší porovnání a přehlednost.

Závěrečným úkolem mé práce bylo měření vybrané poruchy na vedení. Z důvodu časových omezení v důsledku koronavirové krize jsem toto měření nemohl provést. Po domluvě s vedoucím práce jsem použil odkaz na bakalářskou práci, která se těmito měřeními zabývá podrobně.

Literatura

1. *Kabely SYKY a SYKFY* [online] [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.kabelovna.cz/wp-content/uploads/2019/05/TP-31.30.13-KD-02-97-Sykfy.pdf>.
2. KVASIL, Josef. *Teorie sdělovacích vedení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1976.
3. *Sdělovací a datové kabely* [online] [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: https://www.kvelektro.cz/wp-content/uploads/2015/11/datove_kabely.pdf.
4. FILKA, Miloslav. *Telekomunikační vedení. Vyd. 3. Brno: Vysoké učení technické, 1988.*
5. ELICER, Karel. *Konstrukce sdělovacích kabelů a vedení: (teoretické podklady pro konstrukci a montáž sdělovacích kabelů)*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1970.
6. *Primární parametry vedení* [online] [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: http://www.tel skol-pohoda.wz.cz/files/tps/1.PRIMARNI_PARAMETRY_VEDENI.pdf.
7. *Sekundární parametry vedení* [online] [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: http://www.tel skol-pohoda.wz.cz/files/tps/2.SEKUNDARNI_PARAMETRY_VEDENI.pdf.
8. *Access server* [online] [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/>.
9. PŘÍVOZNÍK, Tomáš. *Počítačové modely telekomunikačních vedení* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-07-07]. *Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Jiří Mišurec*. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/11012/5821>.
10. NEPOVÍM, Pavel. *Modelování vlastností přenosového kanálu u xDSL systémů* [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-07-07]. *Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ondřej Krajša*. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/11012/12100>.
11. KAHARE, Muhini Lukas. *Návrh a realizace simulátoru metalických vedení* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2020-07-07]. *Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10084/78971>.
12. VOKÁLEK Petr. *Problematika zaměřování poruch na kabelech* [online]. České Budějovice, 2014 [cit. 2020-07-07]. *Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Pedagogická fakulta*. Dostupné také z: <http://invenio.nusl.cz/record/173341>.
13. LEBEDA, Mikoláš. *Lokalizace závad na metalických kabelech* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2020-07-07]. *Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10084/104169>.
14. *Megger datasheet*. Dostupné také z: <https://eshop.micronix.cz/data/cz/att/003/7494-5247.pdf>.

15. *Types of wiring.* Dostupné také z: <https://www.quora.com/How-many-turns-are-in-a-no-voltage-coil>.